Bosquejo histórico de electro-magnetismo

Traducción del segundo artículo de Michael Faraday

Michael Faraday

Resumen: El presente documento muestra el escenario científico que se configuró a partir de la publicación de los resultados del experimento de la aguja de Hans Christian Ørsted. La diversidad de experiencias y las explicaciones que surgen en este contexto, son dispuestas y resumidas por Michael Faraday en una serie de tres publicaciones en la revista *Annals of Philosophy,* en donde retoma el experimento del científico danés (1821), y da un bosquejo de los avances en el campo del electromagnetismo (1821/1822), en el cual, incluye sus propias experiencias. Paralelamente, los cuestionamientos que se van constituyendo frente a la naturaleza de la electricidad y el magnetismo dejan entrever una posición en donde la masa y la acción se repiensan respecto al marco newtoniano, mientras que el espacio empieza a adquirir un papel activo y preponderante en los fenómenos físicos.

Palabras clave: Michael Faraday, electricidad, magnetismo, electromagnetismo.

Title: Historical Sketch of Electro-magnetism. Translation of the second article by Michael Faraday.

Abstract: This document shows the scientific scenario that was configured from the publication of the results of Hans Christian Ørsted's needle experiment. The diversity of experiences and the explanations that arise in this context, are arranged and summarized by Michael Faraday in a series of three publications in the *Annals of Philosophy* magazine, where he takes up the experiment of the danish scientist (1821), and gives a sketch of advances in the field of electromagnetism (1821/1822), in which he includes his own experiences. At the same time, the questions that are being constituted regarding the nature of electricity and magnetism suggest a position in which mass and action are rethought with respect to the newtonian framework, while space begins to acquire an active and preponderant role in the physical phenomena.

Keywords: Michael Faraday, electricity, magnetism, electromagnetism.

Introducción del traductor

A la luz de los resultados del experimento de Ørsted, se genera una polémica en la comunidad científica, pues la experiencia rompía el principio de simetría que subyacía a todas las teorías de la física hasta ese entonces. De lo realizado por el científico danés, se podía esperar que la aguja se moviera en una especie de atracción, como consecuencia de una fuerza actuando entre los centros de masa del cable y la aguja; o, que la aguja describiera un movimiento longitudinal en la dirección en que circulaba la corriente eléctrica en el cable. No obstante, la acción observaba poseía un carácter transversal, hecho que no era esperado.

En este contexto, Faraday realiza una publicación en *Annals of Philosophy* que consta de tres partes, dos de ellas fueron publicadas en el año de 1821 y la restante en el año de 1822. En la primera publicación Faraday analiza los resultados del experimento de Ørsted y deja

✉ rabautistar@gmail.com | 0000-0001-5845-9349

Faraday, M. (2024). Bosquejo Histórico de Electro-magnetismo: Traducción del segundo artículo de Michael Faraday (R. A. B. Rincón, Trad.). *Epistemología e Historia de la Ciencia*, *8*(1). (Obra original publicada en 1821). https://doi.org/10.61377/ehc.39992

entrever su manera de entender la explicación dada por el científico danés mediante la referencia de algo que se extiende por el espacio y cuya influencia es igual a la de un imán, formulación que representó con vectores de igual magnitud dispuestos en el espacio, con un carácter tangencial a la sección transversal del cable y situándose en el mismo plano (Figura 1).

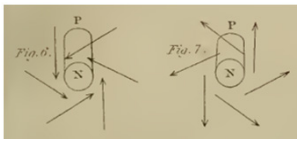


Figura 1. Representación gráfica sobre el espacio circundante al cable realizada por Faraday. Fuente: Faraday, M. (1821). Historical Sketch of Electro-magnetism. *Annals of Philosophy*, *2*(3), p. 198.

Con estas consideraciones, Faraday nuevamente realiza el experimento, y mueve levemente el cable por el que circula corriente hacia uno de los polos, observando una atracción. Posteriormente, coloca el cable con corriente por debajo de la aguja imantada, y observa que se da una repulsión. A partir de ello, detalla que este fenómeno no es más que una tendencia del cable a girar en torno al polo, movimiento que se produce como consecuencia de la generación de una repulsión y una atracción. Este hecho lo llevaría a formular un nuevo experimento que describiría en la tercera publicación: las rotaciones electromagnéticas.

Bosquejo Histórico de Electro-magnetismo[1] (Parte II)

por Michael Faraday

Los resultados obtenidos por el Señor Ørsted fueron inmediatamente repetidos y confirmados por un gran número de filósofos en varios lugares. De éstos nadie era más activo que Ampere en experimentos diversos, haciendo nuevos experimentos, y aplicándoles teoría. Este filósofo leyó un artículo a la Academia de Ciencias de París el 18 de septiembre, en el que proponía una teoría que redujo todos los fenómenos magnéticos a efectos puramente eléctricos, y en muchos subsiguientes escritos propuso argumentos adicionales, tanto experimentales como teóricos, en apoyo de ella. Sin embargo, ahora deseo hablar de los hechos que fueron descubiertos más que de las teorías que se les atribuye: en primer lugar, porque son de la mayor importancia; y en segundo lugar, porque no hay peligro de atribuir las teorías a cualquiera excepto a aquellos de los que se originan.

Los hechos descubiertos por Ampere, aunque no numerosos, son de gran importancia. En una reunión de la *Royal Academy* el 18 de septiembre, describió un experimento que prueba que la pila voltaica actuaba de la misma manera que el alambre, que conecta sus dos polos; y elaboró un instrumento que, al mismo tiempo que demostraba esta acción, demostró ser de gran utilidad en experimentos, en corrientes de electricidad. Esto era simplemente una aguja magnética, pero respecto a los usos para los cuales fue aplicado se llamó galvanómetro. Cuando

[1] Faraday, M. (1821). Historical Sketch of Electromagnetism. *Annals of Philosophy, 2* (4), p. 274-290. Fuente: https://www.biodiversitylibrary.org/item/53943#page/1/mode/1up

se colocaba cerca de una pila, o de una batería de cuba,[2] en acción, teniendo sus polos conectados por un alambre, o introduciéndolos dentro de una celda, se movía inmediatamente, haciéndose obediente a la batería de la misma manera que al alambre de conexión; y los movimientos eran tales como si la batería fuera simplemente una continuación o parte del alambre. Como consecuencia de esta acción, la aguja se convierte en un instrumento capaz de indicar el estado de una pila voltaica activa, y del alambre que la conecta, que se supone es ocasionado por corrientes de electricidad, y en el cual solamente, se ha descubierto el magnetismo.

El 25 de septiembre, Ampere anunció el nuevo hecho de la atracción y repulsión de dos alambres que conectan los polos de una batería; y mostró, que la aguja magnética que había sido usada previamente para probar las atracciones magnéticas y las repulsiones del alambre, podría ser reemplazada por otro alambre de conexión como el primero. Este descubrimiento parecía liberar los fenómenos del magnetismo de cualquier poder peculiar residente en el imán, y probar su producción por la sola electricidad. Cuando por el descubrimiento de Ørsted se había mostrado que un alambre que conectaba los polos de una batería voltaica actuaría sobre un imán, atrayéndolo y repeliéndolo, como haría otro imán, era justo asumir que el alambre poseía los poderes que suministraba el imán; y cuando el segundo imán fue reemplazado por otro alambre de conexión, como en el experimento de Ampere, y los poderes y las acciones permanecían como antes, era perfectamente correcto considerar estos poderes y acciones como magnéticos; de modo que se hizo evidente que el magnetismo podía ser ejercido independiente de los imanes, como usualmente se les denomina, y de cualquiera de los medios de excitación usualmente empleados, sino enteramente debido a la electricidad, y en cualquier buen medio conductor de la electricidad.[3]

Los fenómenos con dos conductores situados entre los polos de la batería son los siguientes: cuando están paralelos, y los mismos extremos de ellos están relacionados de manera similar con la batería; es decir, cuando las supuestas corrientes que existen en ellos están en la misma dirección, entonces se atraen entre sí; pero si los extremos opuestos están conectados con la batería, de modo que las corrientes concebidas que existen en ellos están en direcciones opuestas, se repelen. Sí, también, estando fijo uno, movible el otro, y las corrientes son enviadas, o las conexiones son realizadas en direcciones opuestas, entonces el que está movible se girará hasta que estén en la misma dirección. El contraste entre estas atracciones y repulsiones, y aquellas llamadas usualmente eléctricas,[4] son muy sorprendentes. Éstas sólo tienen lugar cuando el circuito está completo: aquellas sólo cuando está incompleto. Las

[2] Nota del traductor: La batería de Volta o corona de tazas, como se menciona en sus escritos, consistía en piezas de tela empapadas en salmuera colocadas entre discos metálicos amontonados en una pila. Esto daba lugar a una fuga de electrolitos cuando el peso de los discos forzaba la salida de electrolitos de la tela. No podía limpiarse bien, o sustituir las placas metálicas corroidas, sin eliminar antes la disolución ácida que impregnaba la pila. Cruickshank resolvió el problema situando la batería de lado, en posición horizontal, dentro de una caja rectangular. El interior de esta caja estaba forrada con un aislante, y los pares de láminas de zinc y cobre estaban fijas a esta caja, uniformemente espaciados. Entre las placas quedaban unos espacios o canales que se llenaron con una disolución de electrólito, que actúa en sustitución de los discos de tela empapada de salmuera de las pilas de Volta. En tanto que la caja no fuese zarandeada, no había riesgo de derrames de este electrólito.

[3] Nota del traductor: Es así como se alcanza el resultado inesperado de que los fenómenos magnéticos se deben únicamente a la electricidad y no hay diferencia entre los dos polos de un imán además de su posición con respecto a las corrientes de las que se compone el imán, estando el polo austral a la derecha de las corrientes y el polo boreal a su izquierda. (Ampere, 1820, p. 146).

[4] Nota del traductor: Hace referencia a la atracción o repulsión electrostática.

atracciones tienen lugar entre los extremos similares de los alambres, y las repulsiones entre los extremos disimilares; pero las atracciones eléctricas tienen lugar entre extremos disimilares, y las repulsiones entre extremos similares. Éstos ocurren en vacío, pero aquellas no. Cuando la atracción magnética junta a los dos alambres, permanecen en contacto; pero cuando la atracción eléctrica junta dos cuerpos, se separan después del contacto.

Estos experimentos son modificados de varias maneras por Ampere; y el aparato con el que fueron hechos aparece desde las placas y la descripción publicada es muy delicada, ingeniosa, y eficaz. Los resultados generales que el mismo Ampere elaboró son: 1. Que dos corrientes eléctricas se atraen cuando se mueven paralelas entre sí, y en la misma dirección; y se repelen cuando se mueven paralelas entre sí y en dirección contraria;[5] 2. Que cuando los alambres metálicos atravesados por estas corrientes sólo pueden girar en planos paralelos, cada una de las corrientes tiende a dirigir a la otra a una situación en la que estará paralela, y en la misma dirección; 3. Que estas atracciones y repulsiones son completamente diferentes de las atracciones y repulsiones eléctricas ordinarias.

El 25 de septiembre, el Señor Arago declaró a la *Royal Academy of Sciences* que había verificado la atracción de las limaduras de hierro por el alambre de conexión de la batería exactamente como lo haría un imán. Este hecho demostró no sólo que el alambre tenía el poder de actuar sobre aquellos cuerpos ya magnetizados, sino que era asimismo capaz de desarrollar magnetismo en hierro que no había sido previamente magnetizado. Cuando el alambre en relación con los polos de la batería era sumergido en un montón de limaduras, se cubrió con ellas, aumentando su diámetro al tamaño de una pluma de ganso; en el instante en que la comunicación se rompía en cualquiera de los dos polos, las limaduras caían; y en el instante en que se restablecía, eran nuevamente atraídas. Esta atracción tuvo lugar con alambres de latón, plata, platina, etcétera y era tan fuerte como para actuar en las limaduras cuando el alambre se acercó a ellas sin contacto real. Esto demostró que no pertenecía a ningún magnetismo permanente en el alambre o limaduras por la inactividad de ambos, cuando la conexión no se hizo con la batería; y se demostró que no era una atracción eléctrica por el alambre de conexión que no tenía poder sobre las limaduras de cobre, o latón, o sobre el polvo de sierra. Cuando se usaba hierro blando, el magnetismo dado era sólo momentáneo; pero al repetir el experimento con alguna modificación, el Señor Arago tuvo éxito completamente magnetizando permanentemente una aguja de coser.

La teoría que Ampere había formado para explicar sólo por fuerzas eléctricas los fenómenos magnéticos de los imanes, asumía que los imanes eran sólo masas de materia, alrededor de los ejes de los cuales las corrientes eléctricas se movían en curvas cerradas. Esta teoría lo condujo, cuando fue informado por el Señor Arago de sus experimentos, a esperar un efecto mucho mayor si el alambre de conexión se ponía en forma de espiral y la pieza a

[5] Nota del traductor: La confusión en la terminología empleada para describir los fenómenos en esta época, así como los hechos asociados a los mismos, llevaron a que esta idea fuera asumida por muchos como una contradicción en relación a los fenómenos observados en electrostática: electricidades de la misma naturaleza se repelían y electricidades de diferente naturaleza se atraían. A partir de esto, surge la necesidad de establecer una diferenciación entre electrostática y electrodinámica, la primera asociada a las formulaciones de Galvani, y la segunda, a las de Volta. No obstante, también ello provocó el cuestionamiento sobre la naturaleza de la electricidad, en términos de su composición última, desencadenando entonces con el devenir de los años, ideas sobre fluidos y corpúsculos que circulan por los cuerpos conductores.

magnetizar se colocaba en su eje. De acuerdo a la teoría, en una aguja o imán, apuntando hacia el norte, las corrientes estaban en la parte superior de Este a Oeste. Como consecuencia de estas expectativas, los Señores Ampere y Arago hicieron experimentos con espirales o hélices, y los resultados se mencionan en el artículo del Señor Arago,[6] sobre la comunicación de magnetismo a las limaduras de hierro, publicado en los *Annales de Chimie*, XV. 93; de modo que probablemente los experimentos datan del 25 de septiembre, aunque no hay fecha para el documento.

Al torcer un alambre alrededor de una varilla, puede hacerse pasar en una dirección u otra, dando origen a dos hélices distintas pero simétricas, que han sido nombradas por los botánicos *dextrorsum* (hacia la derecha) y *sinistrorsum* (hacia la izquierda). Aunque sus diámetros sean iguales, y las espirales que los componen tienen inclinaciones iguales, nunca pueden ser superpuestas; porque independiente de que estén dobladas cerca, su dirección es la misma. El dextrorsum, o, como podemos llamarla, la hélice derecha, procede de la mano derecha hacia abajo hacia la izquierda por encima del eje; los zarcillos de muchas plantas exhiben ejemplos de ello, y se utiliza casi exclusivamente en las artes; el sinistrorsum, o hélice izquierda, procede de la mano izquierda hacia abajo hacia la derecha por encima del eje.

Habiendo hecho alguna de estas hélices, una fue conectada por sus extremidades con los polos de una batería voltaica, y luego una aguja envuelta en papel fue colocada dentro de ella; después de permanecer allí unos minutos, se sacó, y se encontró fuertemente magnetizada; y el efecto de la hélice por encima del alambre de conexión directa resulta ser muy bueno.

Entonces con respecto a la posición de los polos en la aguja magnetizada, se encontró que cada vez que una hélice derecha era usada, el extremo de la aguja (que estaba) hacia el extremo negativo de la batería apuntaba hacia el norte, y que el extremo de la aguja (que estaba) hacia el extremo positivo apuntaba hacia el sur; pero con una hélice izquierda, el extremo de la aguja que apuntaba hacia el extremo positivo, apuntaba al norte; y el otro extremo, al sur.

Con el fin de establecer este punto, el alambre de conexión a veces era transformado en una hélice, a veces en dos o tres, lo que se hacía fácilmente girándolo alrededor de un tubo de vidrio, o barra, primero en una dirección, luego en la otra; y cuando se colocaban entonces agujas previamente encerradas en tubos de vidrio en estas hélices, lo experimentado por los polos magnéticos estaba siempre de acuerdo con la afirmación que acabamos de dar. En un caso, también, donde el alambre de conexión se había transformado en tres hélices consecutivas, una simple pieza de alambre de acero suficientemente larga para atravesar las tres hélices fue encerrada en un tubo de vidrio y colocada dentro de ellas. Al ser nuevamente

[6] Nota del traductor: Al respecto, Arago establece que un hilo de cobre enrollado en hélice terminaba en dos porciones rectilíneas que se podían adaptar, a voluntad, a los polos opuestos de una fuerte pila voltaica horizontal; una aguja de acero envuelta en papel fue introducida en la hélice, solamente, después de que las comunicaciones entre los dos polos fueran establecidas, a fin de que el efecto esperado no fuese atribuido a la descarga eléctrica, que se manifiesta en el mismo instante en que el hilo conjuntivo se conecta a los dos polos. Durante el experimento, la parte de este en la cual la aguja de acero estaba colocada, fue imantada siempre perpendicular al meridiano magnético, de modo que no hubiese ninguna sensibilidad de acción del globo terrestre. Ahora bien, después de algunos minutos de permanencia en la hélice, la aguja de acero recibió una fuerte dosis de magnetismo; la posición de los polos norte y sur se encontró, de hecho, perfectamente conforme al resultado que el Señor Ampere había deducido, de antemano, de la dirección de los elementos de la hélice, y de la hipótesis de que la corriente eléctrica recorre el hilo conjuntivo yendo de la extremidad de zinc de la pila a la extremidad del cobre. (Caluzi y De Souza, 2009, pp. 6-7).

retirada, y examinada, se encontró que tenía seis polos: primero, un polo norte, un poco más allá un polo sur, luego otro polo sur, un polo norte, otro polo norte, y en el extremo más lejano un polo sur.

La dirección y la constancia de los polos dados a la aguja por las hélices se verá directamente como una consecuencia natural de la posición invariable de la aguja al alambre de conexión, señalada en los experimentos de Ørsted; porque si una pequeña porción de cualquiera de las dos hélices, junto con la aguja magnetizada por ella, se compara con la figura 1, 2 o 3, se encontrarán representadas por ellas. Así, en la figura 8, o 9, que representa las hélices y las agujas en ellas, se verá que cada parte de las hélices cruza las agujas como en 1, 2 o 3; o si dos de los diagramas de cristal, figura 3, se colocan junto con las líneas que representan las agujas juntas, de manera que impliquen solamente una, entonces las líneas que representan los alambres de conexión también representarán una ronda de cualquiera de las hélices.

En el mismo artículo, el Señor Arago también afirma, que cuando el alambre de conexión era perfectamente recto, una aguja situada debajo y paralela a este no era magnetizada en absoluto. También afirmó, que a veces ocurría, aunque no con frecuencia, que el alambre de cobre que conectaba los polos de la batería conservaba su magnetismo durante unos pocos instantes después de romperse la conexión; y también que el Señor Boisgeraud había observado el mismo hecho con un alambre de platina. Estos alambres, se dice, atraían a veces limaduras de hierro, o incluso una aguja, cuando se separaban de la batería, pero el poder pronto desaparecía, y no podía ser producido a voluntad.

El 9 de octubre, el Señor Boisgeraud lee un documento a la *Royal Academy of Sciences*, que contenía el detalle de numerosos experimentos, la mayoría de los cuales, sin embargo, eran variaciones de los primeros experimentos de Ørsted. Comentó que los alambres de conexión, o los arcos, colocados en la batería afectarían a la aguja -un resultado que se sigue como consecuencia de los experimentos de Ørsted y Ampere. Notó la diferencia de intensidad en los efectos producidos cuando se empleaban conductores eléctricos malos para completar el circuito- una diferencia que el propio Ørsted había señalado en el caso del agua. El Señor Boisgeraud, sin embargo, se propuso determinar el poder conductor de diferentes sustancias colocándolas en uno de los arcos, celdas, o divisiones, de la batería, y llevando la aguja magnética, o el galvanómetro de Ampere, hacia otro arco, es decir al alambre, u otro cuerpo de conexión, utilizado para completar el circuito en la batería. Con respecto a las posiciones de la aguja y el alambre el Señor Boisgeraud nota que, todas confirman las afirmaciones de Ørsted, y pueden ser representadas por las figuras antes mencionadas.

El 9 de octubre, Ampere lee otra memoria sobre el fenómeno de la pila voltaica, y sobre el método que pretendía seguir para calcular la acción de dos corrientes eléctricas. En esta oportunidad, también, mostró la acción mutua de dos corrientes eléctricas rectilíneas; es decir, de dos porciones rectas de los alambres de conexión;[7] a mi modo de ver parece que los

[7] Nota del traductor: La acción de las corrientes con efectos medibles es la suma de las acciones infinitesimales de los elementos, una suma que sólo puede obtenerse por dos integraciones sucesivas, de las cuales una se debe realizar sobre toda la extensión de una corriente para el mismo punto de la otra, mientras que la otra debe realizarse con respecto al resultado de la primera entre los límites fijados por la primera corriente sobre toda la extensión de la segunda corriente; es sólo el resultado de esta última integración, tomada entre los límites fijados por las extremidades de la segunda corriente, que puede compararse con los datos experimentales. (Ampere, 1820, p. 146).

fenómenos de atracción, repulsión, etcétera, se observaron por primera vez con alambres espirales. Estas acciones, sin embargo, son exactamente similares; y la visión ya dada de ellas, relacionada con alambres rectos, es por consiguiente más simple que lo que puede ser la descripción de los efectos con alambres espirales; es decir, considerándolo como una cuestión de experimento solamente, y no de teoría.

Como consecuencia de la visión que Ampere había tomado de la naturaleza del magnetismo como dependiente simplemente de corrientes de electricidad, se convirtió en un objeto importante según él para determinar la acción de la tierra sobre tales corrientes excitadas por la batería voltaica; de su teoría (en breve manifestada), esperaba que fuera igualmente eficaz dirigiendo estas corrientes como dirigiendo a aquellas que supuestamente existían en la aguja magnética. Después de algunas pruebas, logró superar los obstáculos para una delicada suspensión, contacto, etc. y construyó un aparato en el cual una parte del alambre que conectaba los dos polos de una batería se dejaba tan ligera y móvil que se movía inmediatamente; la conexión se completó con el polo, y tomó una dirección que, con respecto a la tierra, era siempre constante, y acorde con la teoría de Ampere. Un relato de estos experimentos, con el aparato usado en ellos, fue leído en la *Royal Academy* el 30 de octubre. El primero consistía de un alambre doblado de modo que formaba casi un círculo completo de aproximadamente 16 pulgadas de diámetro; las dos extremidades se acercaron y se colocaron una debajo de la otra; y siendo atadas a dos puntas de acero, fueron conectadas por ellas con dos pequeñas vasijas de platino que contenían mercurio, fijadas para recibirlas; sólo una de las puntas estaba tocando el fondo de la taza en la que fue colocada; de modo que la fricción era escasa, y el mercurio aseguraba un buen contacto. Las vasijas fueron conectadas con otros alambres que se hacían pasar a la batería voltaica; de modo que era fácil hacer que este círculo móvil se conectara de una manera u otra entre los polos; y estando encerrado en una caja de vidrio, cualquier movimiento que pudiera recibir era fácilmente observable sin peligro de que fuera causado por cualquier otra causa que la acción eléctrica.

Cuando los extremos de este aparato eran conectados con los polos de una batería, el círculo se movía inmediatamente, y después de algunas oscilaciones se colocaba en un plano perpendicular al meridiano magnético de la tierra; y en cada repetición del experimento, tuvo lugar el mismo efecto.[8] La dirección en que se movía dependía de la forma en que se había hecho la conexión con la batería; y si era asumido que había una corriente atravesando el alambre desde el extremo positivo al negativo, la curva se disponía a sí misma de tal manera que esa corriente siempre pasaba hacia abajo en el lado oriental y hacia arriba en el occidental. Este círculo se movía alrededor de una perpendicular, y, por lo tanto, sólo representaba la dirección de la aguja magnética: con el propósito de representar la declinación, se formó un

[8] Nota del traductor: Ampere primero trató de simular la acción de la tierra sobre una brújula disponiendo una hélice conductora de corriente eléctrica, enroscada alrededor de un tubo de vidrio. No obstante, la tierra no afectó la hélice y concluyó que al aumentar su diámetro, podría aumentar la torsión terrestre que actuaba sobre ella, hasta un punto en el que este efecto podría ser visible. Logró mostrar este efecto experimentalmente, demostrando que la torsión sobre uno de los círculos de la hélice donde se tenía corriente, aumentó con un diámetro mayor. Construyó un gran círculo de alambre, que se suspendió libremente en un plano vertical mediante dos cables verticales conectados a sus extremidades. Este círculo podía girar libremente alrededor de un eje vertical que pasaba por su centro. Cuando la corriente fluía en este circuito, era orientada por el magnetismo terrestre, caso contrario, permanecía ortogonal al plano vertical que pasaba a través del meridiano magnético local (Assis y Chaib, 2015, p. 67).

alambre en paralelogramo, y estando fijado a un eje de vidrio fue suspendido por finas puntas, y conectado como antes para moverse alrededor de un eje horizontal; entonces con este eje siendo perpendicular al meridiano magnético, y los alambres siendo conectados con los polos de una batería, el paralelogramo se movía inmediatamente hacia una posición en el plano perpendicular a la aguja; cuando la comunicación se rompió, volvió a su primera posición; y cuando se renovó, retomó la posición, indicando evidentemente la influencia magnética de la tierra sobre este. Debido a la dificultad de colocar el centro de gravedad en el centro de la suspensión, y de mantenerlo allí, este conductor no tomó su posición exactamente en un plano perpendicular a la aguja, sino que se acercó hacia ella hasta el equilibrio entre el poder magnético y gravitatorio de la tierra.

El 30 de octubre, los Señores Biot y Savart leyeron una memoria a la Academia de Ciencias, cuyo objeto era determinar la ley por la cual un alambre de conexión actuaba sobre cuerpos magnetizados. Las pequeñas placas rectangulares, o alambres cilíndricos, de acero templado se hicieron magnéticas con el doble contacto, y siendo entonces suspendidas por hilos de gusano de seda fueron colocadas en diferentes posiciones con, y a distancias diferentes de, el alambre que conectaba los polos de la batería. El magnetismo terrestre se combinaba a veces con el del cable, a veces opuesto a él, y a veces neutralizado por la proximidad de otro imán. Las diferentes posiciones de equilibrio, y el número de oscilaciones de las agujas, fueron observadas, y se obtuvieron datos, por los cuales los Señores Biot y Savart fueron conducidos al siguiente resultado, que expresa la acción ejercida por una molécula de magnetismo austral o boreal, colocada a cualquier distancia de un alambre cilíndrico muy fino, que se vuelve magnética por la corriente voltaica. Deje que una línea pase de esta molécula perpendicularmente al eje del alambre, la fuerza que atrae a la molécula es perpendicular a esta línea y al eje del alambre; su intensidad es recíproca a la distancia. La naturaleza de la acción es la misma que la de una aguja magnetizada colocada sobre la superficie del alambre en una dirección determinada y constante en su relación con la dirección de la corriente voltaica; de modo que una molécula de magnetismo boreal y una molécula de magnetismo austral sería atraída en diferentes direcciones, aunque constantemente de acuerdo con la expresión anterior.[9]

Al lograr magnetizar hierro y el acero por el alambre que descarga el aparato voltaico, el Señor Arago fue conducido a esperar los mismos efectos de la electricidad común; y en la prueba experimental encontró que los resultados eran los mismos. Él anunció este hecho verbalmente a la *Royal Academy* el 6 de noviembre, afirmando que había producido de esta manera todos los fenómenos que había observado en el uso de electricidad voltaica. Ningún resumen de estos experimentos ha sido, creo, publicado, pero es fácil concebir la forma general en que serían realizados. Son muy importantes, porque identifican la electricidad voltaica y común, aunque pocos, creo, todavía conservan dudas sobre este punto, y, también, porque prueban que los fenómenos magnéticos no dependen de tal o cual modo de excitar la electricidad, sino del constante acompañamiento cuando esta se mueve.

[9] Nota del traductor: Formulación que sería conocida como la Ley de Biot-Savart, que supone que: la fuerza es inversamente proporcional a la distancia entre el alambre y la aguja; la dirección de la fuerza es perpendicular al plano que forma el alambre y la recta que lo une con la posición de la aguja.

Como consecuencia de la teoría de Ampere, que atribuía los poderes de los imanes a las corrientes eléctricas, y también de las opiniones tomadas de la manera en que se suponía que las corrientes de electricidad en el alambre de conexión inducían corrientes en barras de acero situadas cerca de ellos, como en los experimentos del Señor Arago; se esperaba seriamente que tal arreglo pudiera hacerse de imanes, alambres, etcétera, como para producir la descomposición de agua, o algunos otros efectos eléctricos; pues como la electricidad produjo el magnetismo, se consideró que el magnetismo podría producir electricidad. Muchos montajes fueron hechos de imanes juntos, y de alambre alrededor y de imanes redondos; y al principio se afirmó que los efectos eléctricos, como la descomposición de agua, atracciones, etcétera, habían sido producidos; pero el 6 de noviembre, el Señor Fresnel,[10] que había sido muy detallado en sus esfuerzos por obtener estos efectos, concedió a la *Royal Academy* que las apariciones no eran tales como las autorizaban las conclusiones, que algún efecto se había obtenido.

En el mismo momento, también (6 de noviembre), Ampere notó un efecto producido por el alambre de conexión doblado en una hélice. Esto se puede entender fácilmente considerando que la dirección del poder magnético es siempre perpendicular al alambre conductor. Cuando, por lo tanto, el alambre de conducción es paralelo al eje de la hélice, el poder es perpendicular a ese eje; cuando el alambre forma un círculo alrededor del eje, en un plano perpendicular a él, el poder está en la dirección del eje; pero cuando, como en la hélice, pasa alrededor del eje en una dirección intermedia entre el paralelismo y la perpendicularidad, la dirección del poder está por supuesto inclinada como corresponde. En este caso el poder puede considerarse como compuesto por dos porciones, una perpendicular al eje, la otra paralela. Como Ampere consideró que los imanes eran conjuntos de corrientes perpendiculares a sus ejes, deseaba, en su imitación de ellos, eliminar ese efecto debido a la extensión del alambre en la dirección del eje de la hélice, y tuvo éxito en esto haciendo que el alambre en un extremo retornara a través de la hélice para no tocarlo en alguna parte; pues en esta posición, sus efectos magnéticos eran contrarios a los que pertenecían al largo de la hélice, y también cerca de ellos, se neutralizaban o se escondían mutuamente. Ahora se hacía una imitación de un imán formando una hélice, y haciendo que los alambres en las dos extremidades retornaran a través del centro de la hélice a

[10] Nota del traductor: Cuando vemos que una corriente eléctrica magnetiza un cilindro de acero mientras viaja a través de una hélice metálica envuelta a su alrededor, es natural probar si una barra de imán no puede reproducir una corriente voltaica en la hélice envolvente; no es que parezca, a primera vista, una consecuencia necesaria de los hechos; porque si el estado de magnetización del acero fuera, por ejemplo, una nueva disposición de sus moléculas, o una distribución particular de un fluido, uno concibe que este nuevo estado podría no reproducir el movimiento que lo estableció. Creí sin embargo, que no era inútil intentar este experimento. (Fresnel, 1820, p. 219).

> Lo que me hace dudar más ahora que los resultados de los primeros experimentos que se deben a la acción del imán es que los dispositivos mucho más poderosos que he estado usando no ofrecieron menos anomalías en su acción en el agua; y eso es, en mi opinión, un fuerte objeción a las conjeturas que me sugirieron estos experimentos; porque la causa está aumentando, el efecto debería aumentar también. (Fresnel, 1820, p. 221).
>
> Apenas puedo creer, por la misma razón, el éxito de los intentos que Ritter había hecho desde mucho tiempo para descomponer el agua por acción magnética; porque, arreglando varios imanes de para formar una celda galvánica (de acuerdo con su hipótesis), no pudo producir resultados más destacados que los que había obtenido con un solo imán. (Fresnel, 1820, p. 221).

medio camino, y luego se distribuían hacia arriba y hacia abajo, para formar un eje perpendicular en el cual todo pudiera moverse. Al conectar la extremidad de una batería con estos dos extremos del alambre, la hélice se convirtió en magnética, y fue atraída y repelida por un imán precisamente como habría sido con un imán verdadero.

Los Señores Buch, de Frankfort, al repetir los experimentos de Ørsted, el 22 de octubre, no añadieron nada nuevo; pero el aparato que empleaban era tan simple y eficaz que harían que los experimentos estuvieran dentro de la observación de aquellos que puede que de otra manera pensaran que eran demasiado difíciles de ser realizados en una forma sencilla. Uno era simplemente un crisol de platina con una placa doblada de zinc conectada con el fondo, y luego haciéndose pasar de lado, y girada alrededor hasta que estuviera sumergida en el crisol, figura 10. Cuando el ácido diluido se puso en el crisol, el aparato actuó poderosamente sobre la aguja magnética. Se formó otro aparato con una pequeña cuchara dorada que tenía una pieza curvada de zinc unida al mango, y que se clavaba en el cuenco de la cuchara. Actuó muy poderosamente. Un tercero era una aguja formada de un pedazo de zinc y una pieza de plata a manera de un simple círculo voltaico. Este, fijo en un corcho, y colocado en ácido diluido, se hizo obediente al imán cuando se acercó a él.

El 13 de noviembre, el Señor Lehot declaró a la Academia de Ciencias que, a pesar de los resultados obtenidos por el Señor Fresnel, todavía estaba convencido del poder de descomposición que los imanes daban a los alambres de hierro, y cita experimentos que había hecho seis años antes conectando alambres de hierro a los polos de un imán, y luego sumergiendo sus extremos en agua. El polo sur causó oxidación, el polo norte conservó brillante su alambre; nuevamente en tintura de tornasol; el polo sur enrojecía la tintura; el polo norte no lo hizo. No había alguna razón para considerar estos experimentos como decisivos; y el propio Lehot no les da más importancia que a aquellos hechos 20 años atrás por Ritter, y sobre la incertidumbre que el Señor Fresnel había remarcado suficientemente.

El 13 de noviembre también, Ampere leyó una nota sobre los efectos electroquímicos de un alambre espiral sometido a la acción de la tierra. El alambre formó una hélice alrededor de un cilindro de papel, cuyo eje se colocó paralelo a la desviación y dirección de la aguja, las extremidades se colocaron en una solución de sal común. En siete días apareció gas en ambos extremos, pero la mayoría respondió al extremo negativo de la batería; las burbujas fueron desplazadas, pero aparecieron otras; el extremo permaneció brillante, mientras que el otro extremo se oxidó, y no dio más gas. En general, sin embargo, el experimento parecía incierto, sobre todo después de lo que el Señor Fresnel había dicho; y el mismo Ampere dijo, que aún dudaba de la existencia de la acción.

El 16 de noviembre se leyó en la *Royal Society* una carta de Sir H. Davy al Dr. Wollaston sobre los fenómenos magnéticos producidos por la electricidad. Los experimentos detallados en esta fueron hechos en su mayoría en el mes de octubre, y son de muy alto interés. La forma peculiar en que este filósofo comprime hechos importantes y numerosos en pocas palabras permitirá una descripción condensada que raramente es dada en sus documentos. En el presente caso, sin embargo, no hay ocasión de intentar tal relato, ya que el mismo documento

ha aparecido en un número tardío de sus *Annals*, y se encuentra en la p. 81 de este volumen,[11] donde la deducción del hecho puede ser trazada maravillosamente. Lo siguiente es poco más que una enumeración de los hechos contenidos en él.

Concretamente, que el alambre de conexión afectó la aguja como describió el Señor Ørsted; el efecto se atribuyó inmediatamente al propio alambre convertido en un imán; y esto se demostró instantáneamente acercándolo a limaduras de hierro, que fueron atraídas, y permanecieron unidas a él mientras la comunicación continuara. Este es de hecho el mismo experimento que hizo el Señor Arago, pero fue realizado por los dos filósofos de manera independiente; y como hasta ahora no se ha publicado ningún detalle del experimento del Señor Arago, la descripción exacta de Sir H. Davy se verá muy interesante. Este efecto tuvo lugar en cualquier parte del cable, y en cualquier lugar de la batería. Las agujas de acero colocadas sobre el alambre de conexión se hicieron magnéticas; aquellas paralelas al alambre actuaban como el propio alambre, aquellas que lo cruzaban tenían cada una dos polos; tales fueron colocadas debajo del alambre, el extremo positivo de la batería, siendo este, tenía polos norte en el sur del alambre, y polos sur al norte; aquellas agujas dispuestas encima estaban en la dirección opuesta; y éste era constantemente el caso, cualquiera que fuera la inclinación de la aguja al alambre. Esta posición, se observará, es precisamente la que se ha mencionado en el relato de los experimentos del Señor Ørsted. Al romper la conexión, las agujas de acero que estaban cruzadas retuvieron su magnetismo, mientras que las paralelas al alambre lo perdieron en el momento.

Alambres de platina, plata, etcétera, en la misma situación, no se hicieron magnéticos, excepto cuando, por accidente, formaban parte del circuito. Cualquiera que fuera la posición de la batería, o alambre, el efecto era el mismo. Se encontró que el contacto no era necesario: el efecto instantáneo se producía por simple yuxtaposición, aunque intervino un cristal grueso; las limaduras colocadas así mismas en líneas rectas cruzando el alambre en una placa de cristal sostenida sobre este a un cuarto de pulgada de distancia. El efecto fue proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por un espacio dado, sin ninguna relación con el metal que la transmite. Aumentar el tamaño de las placas aumenta proporcionalmente los efectos magnéticos de los alambres de conexión. El alambre que conectaba una batería de 60 pares de placas no tomaba la mitad de las limaduras como cuando la batería estaba dispuesta para formar 30 pares de placas del doble de tamaño. Los poderes magnéticos del alambre se elevaban con su calor.

Considerando que una gran cantidad de electricidad era necesaria para producir magnetismo considerable, Sir H. Davy concluyó que una corriente de una máquina común (Figura 2)[12]no tendría efecto, mientras que una descarga lo haría; y esto se encontró que era verdadero; los polos de la aguja magnetizada estaban situados exactamente igual que antes. En

[11] Davy, H. (1821). On the magnetic phaenomena produced by electricity. *Annals of Philosophy, 2* (2), p. 81-89.
[12] Nota del traductor: Estas máquinas fueron fabricadas en algún momento de la década de 1770. Estaban constituidas por un cilindro de vidrio apoyado en dos brazos de madera fijos a una base de madera. Este cilindro se podía hacer girar rápidamente mediante una manivela a través de dos ruedas unidas por una transmisión de correa. Igualmente, se tenía un conductor principal de bronce montado sobre un soporte de madera y apoyado en un pilar de vidrio. Uno de los extremos del conductor llevaba un peine cuyos dientes tenían puntas finas. El cilindro de vidrio, estaba próximo y en relativo contacto con un cojín de cuero que proporcionaba el efecto de fricción, tal cojín, estaba fijo a un pilar de vidrio soportado sobre una base de madera.

estos experimentos una batería de 17 pies cuadrados, altamente cargada, siendo descargada a través de un alambre de plata, de 1/20 de una pulgada de diámetro, barras de acero de dos pulgadas de largo, y de 1/10 a 1/20 de espesor, tan magnéticas, como para levantar piezas de alambre de acero y agujas, y el efecto fue comunicado a una distancia de cinco pulgadas del alambre, inclusive cuando agua, placas gruesas de vidrio o metal intervinieron.

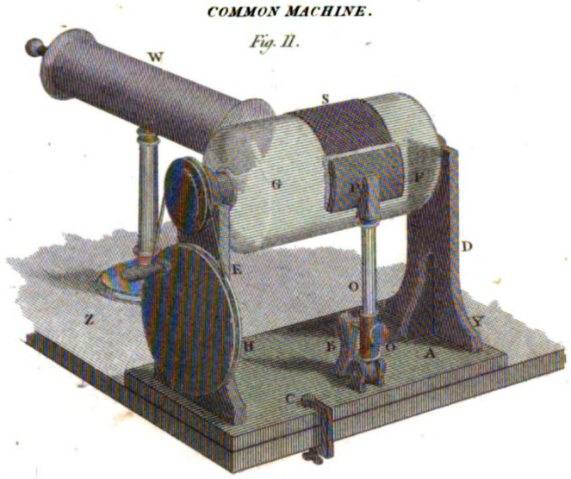


Figura 2. Máquina común eléctrica (Figura introducida por el traductor). Fuente: Rees, A. (1820). Cyclopaedia; Universal Dictionary of Arts, Sciences, and Literature. London: Longman, Hurst, Rees, Orme and Brown, placa IX.

Por este tipo de experimentos se encontró que un tubo de ácido sulfúrico, de un cuarto de pulgada de diámetro, no conducía la electricidad suficiente para hacer al acero magnético; que una explosión a través del aire hacía magnética a la aguja colocada transversalmente, aunque no tan fuertemente como un alambre lo habría hecho; que las barras de acero en el circuito, o paralelas a él, no se convirtieron en imanes; que dos barras colocadas juntas cruzando el alambre, pasando a través del centro común de gravedad, no mostraron magnetismo después de la descarga antes de que fueran separadas, pero exhibieron polos opuestos en la separación.

Una conclusión recogida por el autor de estos experimentos es, que el magnetismo se produce cuando la electricidad concentrada pasa por el espacio.

Al disponer numerosos alambres en círculos, y otras direcciones alrededor y cerca del alambre de descarga, se encontró después de la descarga, que todos eran magnéticos, y los polos eran exactamente como antes se expresó; de modo que el polo norte de una aguja estaba hacia el polo sur de la siguiente, y en una relación constante con el curso de la descarga, figura 11.

El alambre de conexión se dividió en una parte en tres, cuatro, o más, alambres pequeños, y al descargar la batería voltaica a través de ellos, se encontró que eran magnéticos a la vez, y se lo transmitieron a limaduras separadas;[13] cuando los lados opuestos de dos de estos

[13] Nota del traductor: Supongamos que una poderosa electricidad pasa a través de dos, tres, cuatro, o más alambres, formando parte del mismo circuito paralelos entre sí en el mismo plano, o en diferentes planos, difícilmente podría dudarse de que cada alambre y el espacio que lo rodeaba se volverían magnéticos de la misma manera que un solo alambre, aunque en menor grado; y esto que encontré fue realmente el caso. Cuando cuatro alambres de platino fino completaron un poderoso circuito voltaico, cada alambre exhibió su magnetismo de la misma manera, y las limaduras de acero en los lados opuestos de los alambres se atrajeron mutuamente. Como las

se acercaban, las limaduras se atraían entre sí. De esto, se esperaba que cuando los lados similares se acercaran, las limaduras en ellos se repelieran entre sí. Esto fue probado por dos baterías dispuestas en paralelo, pero en direcciones opuestas. Las limaduras en estos alambres de conexión se repelían entre sí; y los alambres de conexión de platino y acero fino sin limaduras exhiben fenómenos similares de atracción y repulsión. Estos experimentos, se percibirán, son similares a los hechos por Ampere sobre la atracción y repulsión de dos alambres de conexión, o, como él los llama, dos corrientes eléctricas, y prueban la misma cosa. Al colocar piezas rectas de platino, plata, y alambre de cobre, en dos filos de cuchillo de platino conectados con los polos opuestos de una batería, se descubrió que eran atraídas y repelidas en direcciones acordes con lo que se ha dicho antes. Se encontró que una hoja de oro dispuesta de la misma manera formando la conexión era movida por un imán.

Un modo simple de hacer imanes se señala en este documento; a saber, mediante la fijación de barras de acero cruzadas, o piezas circulares de acero en forma de imanes de herradura, alrededor los conductores eléctricos de las construcciones expuestas.

El Señor Yelin parece haber descubierto por accidente que al colocar una aguja de acero en un tubo de vidrio rodeado por una espiral de alambre, a lo largo del cual se pasaban simples chispas eléctricas o la descarga de la batería, la aguja se hacía magnética. Este resultado fue publicado en la "*Allgemeine Zeitung*", del 2 de diciembre de 1820. Consecuentemente, mucho después de los anteriores experimentos del mismo tipo, aunque sin un conocimiento de ellos. El Señor Bockman, al repetir y variar estos experimentos, aumentó el seno de la hélice mucho más allá de lo que se había hecho anteriormente. Cuando se utilizaban hélices que variaban de media pulgada a 13 pulgadas de diámetro, el poder de recibir magnetismo en la aguja de acero situada en el eje de la (hélice) más grande no parecía, en absoluto disminuido. Con una hélice de 34 pulgadas de diámetro, el magnetismo comunicado era mucho menor, y con una de 84 pulgadas apenas era perceptible. La superficie utilizada en estos experimentos era de 300 pulgadas cuadradas. Se encontró, al seguir estos experimentos, que la aguja afuera de la hélice se magnetizaba tanto como adentro; que después de estar completamente magnetizada, una continuación de descargas debilitaba su poder; que cinco frascos cada uno, de 300 pulgadas cuadradas, no produjeron con descargas repetidas mucho más efecto que una de ellas; que se requería un cierto espesor de acero en la aguja, o barra, para producir el mayor efecto; y que al colocar una aguja de acero dentro de un tubo de hierro estañado; que en un tubo de vidrio, y una espiral alrededor de él, una descarga no causaba magnetismo en la aguja, sino que hacía magnético al tubo; mientras que, si el tubo de metal era plomo, entonces la aguja se hacía magnética.

El Señor Von Buch, de Utrecht, mientras estaba ocupado (en enero de 1821) repitiendo los experimentos de Ørsted y otros, obtuvo resultados acorde a ellos, excepto en un caso, de

---

limaduras en los lados opuestos del alambre se atraían entre sí debido a que estaban en estados magnéticos opuestos, era evidente que si los lados similares podían ponerse en contacto, las limaduras de acero se repelerían entre sí. Esto fue probado muy fácilmente con dos baterías voltaicas dispuestas paralelas entre sí, de modo que el extremo positivo de una era opuesto al extremo negativo de la otra: las limaduras de acero sobre dos alambres de platino que unían las extremidades se repelían fuertemente entre sí. Cuando las baterías fueron arregladas en el mismo orden, es decir, positivo frente a positivo, se atrajeron; y los alambres de platino (sin limaduras) y alambre de acero fino (aún más fuerte) exhibieron fenómenos similares de atracción y repulsión en las mismas circunstancias. (Davy, 1821, p. 86-87).

diferencia con Ørsted. El Señor Ørsted dice, que "si el alambre de conexión se coloca perpendicularmente al plano del meridiano magnético, ya sea por encima o por debajo de él, la aguja permanece en reposo, a menos que esté muy cerca del polo: en ese caso, el polo es elevado cuando la entrada es desde el lado Oeste del alambre, y deprimido cuando es desde el Este." El Señor Von Buch señala que este estado de reposo no continúa en dos de las cuatro posiciones del alambre. Cuando el alambre de conexión está por debajo del centro de la aguja, y la corriente positiva es de Este a Oeste, la aguja permanece inmóvil. Cuando la corriente es de Oeste a Este, realiza media revolución. Por el contrario, estando el alambre de conexión por encima y la corriente de Este a Oeste, hace que la aguja gire medio camino a su alrededor; mientras que de Oeste a Este deja la aguja inmóvil. El Señor Von Buch concibe la diferencia de sus resultados y los de Ørsted dependientes del poder superior de su aparato; y ciertamente es suficientemente evidente que la imperfección de los resultados de Ørsted dependía de la debilidad de la pila. Las atracciones y repulsiones, o las elevaciones y depresiones, cuando él dice que el alambre se llevó cerca de los polos demuestra la existencia de esa acción la cual en los experimentos de Von Buch era bastante fuerte para girar la aguja; y si la posición del alambre y la aguja en estos experimentos se compara con las posiciones deducidas de los experimentos del Señor Ørsted, figuras 1, 2 y 3, se verá que en dos de los casos, aquellos señalados por Von Buch, era necesaria una media revolución de la aguja para llevarla a un estado de equilibrio con el alambre en esas posiciones.

El Señor Von Buch, también, parece haber determinado el efecto de la electricidad común en la producción del magnetismo sin un conocimiento previo de lo que se había hecho por otros en este campo, y logró producir el efecto por un poder menor que se había utilizado antes para ese propósito. Encontró que no era necesaria una descarga fuerte, ni siquiera de una botella de Leyden; pero, fijando una hélice entre el conductor principal de una máquina y otro conductor aislado, colocando una aguja de acero en ello, y luego sacando chispas del último conductor, la aguja se hacía magnética. Un simple giro de una máquina, con dos discos de 18 pulgadas de diámetro, era suficiente para hacer la aguja evidentemente magnética.

En Italia, se han hecho muchos experimentos relacionados con el magnetismo por electricidad, y que, aunque nuevos en el tiempo para aquellos que los hicieron, habían sido hechos previamente por otros. Una serie fue hecha entre el 6 y el 18 de enero, por los Señores Gazzeri, Ridolfi, y Antinori, en Florencia. Los resultados, que me parecen más interesantes, son los siguientes: Las agujas colocadas en hélices conectadas con los polos de la batería recibieron su magnetización en un minuto. Las agujas en el exterior de las hélices no recibirían magnetismo, a menos que hubiera uno o más también dentro, y luego se hacían imanes con sus polos en direcciones opuestas a los polos del imán interno. La hélice se transformó en una forma cuadrada, al tener su alambre envuelto alrededor de un paralelepípedo; el efecto magnético permaneció igual. Una aguja y un largo alambre de platina estaban envueltos en una hoja de papel de aluminio, y aquella parte que contenía la aguja fue introducida en una espiral de alambre de cobre; el circuito se hizo entonces por el alambre de platina sin la espiral de cobre; estando en conexión con cualquiera de los polos, la aguja se magnetizó. Una espiral de alambre de cobre con una aguja en ella fue colocada en la superficie de un tazón de mercurio, y el mercurio hizo entonces parte del circuito: la aguja se hizo débilmente magnética. Las chispas de una máquina común tomada a través de una hélice que contenía una aguja de acero hicieron

que la aguja fuera magnética. Estos filósofos parecen haber descubierto que el alambre de conexión colocado en otras partes de la batería de extremo a extremo no magnetizarían las agujas. Hay, probablemente, algún error en esto.

El Señor la Borne, al repetir los experimentos de Arago, el 8 de enero, varió el uso de la hélice haciéndola de hierro, y poniéndola alrededor del alambre recto, a través del cual se hizo una descarga eléctrica. La hélice en este caso llevaba a la aguja a ser magnetizada, y se encontró que era un imán fuerte, al estar los polos en las posiciones tan a menudo referidas. Tal imán es flexible y elástico, y puede ser doblado, alargado o acortado: al juntar los dos polos, su acción sobre una aguja magnética disminuyó mucho.

En una carta (sin fecha) del Señor Berzelius al Señor Berthollet, publicada en los *Annales de Chimie*, para febrero p. 113, se describe un experimento que consiste en colocar una hoja delgada de estaño, de ocho pulgadas de largo y dos de ancho, paralela, y en el plano, del meridiano, y en esa posición conectándola con los elementos de un círculo voltaico. Una aguja magnética movida cerca del borde inferior de esta placa fue desviada 20° del meridiano magnético. Al moverla lentamente hacia arriba, tomó su posición natural, cuando estaba nivelada con el centro del plato, excepto que se elevaba en un extremo, y se deprimía en el otro; y cuando estaba cerca del borde superior, se movía 20° desde el meridiano magnético en la dirección opuesta a lo que hacía abajo. Cuando la aguja se movió hacia arriba y hacia abajo en el lado opuesto de la placa, la misma desviación y efectos tuvieron lugar, pero en direcciones opuestas. Una pequeña porción del borde superior de la hoja se cortó, y giró hacia arriba, formando una proyección por encima del borde. La aguja traída a una distancia igual de esta proyección, y el borde, estaba más afectada por el primero que por el último.

Luego usando una placa cuadrada de estaño, y formando la conexión en ángulos opuestos, se comprobó al examinar que los ángulos que intervenían actuaban con más fuerza en la aguja que cualquier otra parte- circunstancia que demuestra, dice el Señor Berzelius, que la polaridad magnética de la corriente va a los extremos opuestos, como sucede con la polaridad eléctrica, y en los imanes artificiales.

La banda u hoja de estaño colocada en un plano horizontal, y en el meridiano magnético, actuaba sobre la aguja tal como habría hecho un alambre. La mayor desviación de la aguja ocurría inmediatamente por debajo o por encima de la mitad de la hoja, y los bordes actuaban como en la primera posición. Las posiciones asumidas por las agujas en estos experimentos eran exactamente lo que se esperaría. Los experimentos reciben todo su interés por la manera en que su creador los aplica para apoyar su opinión particular, y aparte de eso no tienen nada nuevo en ellos. El Señor Berzelius piensa que un alambre redondo, cuando se coloca como el conductor, presenta un caso más complicado que cuando se usa un cuadrado, o un paralelepípedo. Me esforzaré por volver, sin embargo, a la teoría adelantada por este filósofo en la actualidad.

Los experimentos del Señor Lehot (27 de febrero) son repeticiones de lo que se había hecho anteriormente, y sólo pretenden demostrar que un conductor recto puede comunicar el magnetismo en oposición a la opinión del marqués Ridolfi, que consideraba que debía ser más o menos envuelto alrededor de la aguja para magnetizarla.

Los experimentos del Señor Schweiger no tienen nada nuevo después de lo que se ha dicho. No sé su fecha, pero se insertaron en la Bib. Univ. para marzo de 1821. El autor hizo

pasar su alambre de conexión varias veces alrededor de la aguja, produciendo de hecho la misma acumulación de efecto que en la hélice, y utilizó sólo dos placas, de cuatro pulgadas cuadradas. Los efectos fueron muy fuertes sobre la aguja magnética. El Señor Schweiger se opone a la teoría del Señor Ørsted, y avanza en una propia.

En el mismo número de la Bib. Univ. el Señor de la Rive describe la construcción de dos pequeños aparatos, destinados a mostrar dos de los experimentos realizados por Ampere, la atracción de una corriente eléctrica por un imán, y su electro-imán artificial. El primero está hecho de dos piezas, una de zinc, la otra de cobre, que pasan por un corcho, y son conectados arriba por un alambre de cobre curvado. Cuando se coloca este aparato sobre la superficie de ácido diluido con las partes inferiores de las piezas sumergidas, se forma una combinación voltaica, que puede ser atraída y repelida trayendo un imán en diferentes direcciones hacia el alambre de cobre de conexión que está encima: figura 12. El otro es una placa de zinc y cobre, flotando sobre un corcho como antes, pero conectadas encima por una hélice. Esta hélice se hace envolviendo un alambre de cobre cubierto con seda alrededor de un pequeño tubo de vidrio; luego se desliza desde el tubo, haciendo que los extremos del alambre vuelvan a través de la hélice hasta cerca de su centro, y luego pasando al exterior entre las curvas de la hélice; se conectan entonces con los extremos de las piezas de zinc y cobre; y sobre el instrumento que se coloca sobre la superficie del agua acidulada, los extremos de la hélice serán atraídos y repelidos, como los polos de un imán: figura 13. Estos aparatos son muy sencillos, fáciles de fabricar, y eficaces.

El Señor Moll, en tres cartas al Editor del *Journal de Physique*, la primera con fecha 23 de marzo, las otras sin fecha, da cuenta de algunos experimentos realizados para determinar el poder relativo de una batería compuesta de muchas placas pequeñas, y una solamente de dos placas grandes. El aparato grande consistía en un estrecho recipiente de cobre, que contenía una placa de zinc, que presentaba cerca de cuatro pies cuadrados de superficie. El aparato más pequeño consistía en placas, de cuatro pulgadas cuadradas, juntas a la manera del Dr. Wollaston, con el cobre alrededor del zinc. Con el aparato grande, el Señor Moll observó, que el poder magnético era muy grande, cuando el alambre de conexión era de espesor considerable (2/10 de una pulgada); pero cuando se usó un alambre de platina mucho más pequeño (1/100 de pulgada), el poder disminuía considerablemente. Con un cilindro de cobre, sin embargo, alrededor de una pulgada de diámetro, el poder se redujo. No pudo obtenerse ninguna acción química por este aparato al hacer la conexión con soluciones salinas, o tintura de tornasol, aunque los efectos magnéticos fueran muy potentes. Al hacer la comparación entre este aparato y el de placas y celdas pequeñas, se tomaron 36 pares de estas últimas; de modo que se utilizó una superficie igual de zinc en ambos instrumentos. Siendo puestos en acción por el mismo ácido, y siendo los alambres de conexión similares, el de las dos placas hizo que la aguja se desviara de 60° a 70° del meridiano magnético; mientras que el de la placa pequeña de la batería la hizo desviarse sólo 12°. El poder de descomposición de la batería de placas pequeñas era muy considerable, y el Señor Moll concluye, que el aparato con celdas produce efectos químicos intensos mientras que su acción magnética es muy pequeña; entonces las placas individuales apenas tienen efecto químico, aunque su poder magnético sea muy grande.

El Señor Moll también observa que el estado positivo y negativo de sus placas individuales está en oposición a los estados de una batería de muchas placas, en la medida en

que el polo de zinc es negativo, y el polo de cobre positivo. Encontró las posiciones de la aguja magnética cerca de su alambre al reverso de lo que estaba cerca del alambre de una batería de muchas placas; porque cuando el alambre se extendía desde el polo de zinc, norte, hacia el polo de cobre, sur, una aguja colocada debajo se giraba hacia el oeste en lugar del este, y por encima en la dirección contraria. La causa de esta diferencia se verá fácilmente, cuando se recuerda que el Señor Moll estaba utilizando el alambre que unía las placas de zinc y cobre del mismo par, y no de pares diferentes; de modo que, de hecho, su alambre de conexión estaba en la dirección inversa de aquellos utilizados para conectar entre los polos de una batería con cuatro o más placas. De ahí la deducción, de que las placas en la batería de un solo par están en un estado opuesto a aquellas de la batería de muchas placas, es probablemente prematura.

Al esforzarse en aumentar el tamaño de las placas, y además preservar el instrumento en una forma portátil, las placas fueron, a sugerencia de Offerhaus, dobladas en forma de espiral una dentro de la otra (Figura 3). Este arreglo ha sido adoptado hace algún tiempo por el Dr. Hare, de Filadelfia. Los efectos con este instrumento fueron muy potentes, y similares a los descritos anteriormente.

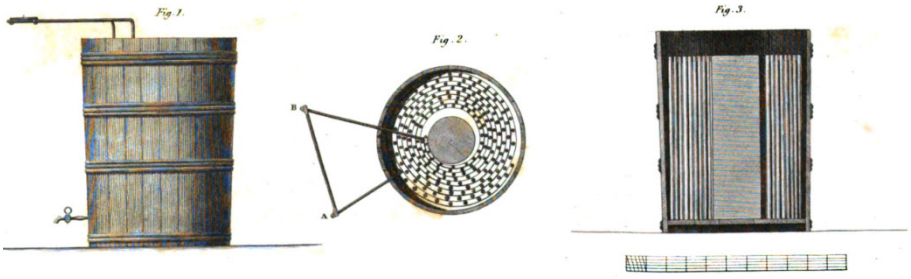


Figura 3. Instrumento utilizado por Moll (figura introducida por el traductor). Fuente: Moll, G. (1821). Account of the Electro-Magnetic apparatus of Lieut-Col Offerhaus. *The Edinburgh Philosophical Journal, 5*, p. 353.

Aunque poseía un aparato poderoso, el Señor Moll no podía conseguir magnetizar una aguja, excepto haciendo que el alambre de conexión formara más o menos una espiral a su alrededor; y concluye de sus experimentos que es absolutamente necesario que tal espiral deba existir para dar magnetismo. Sin embargo, no puede haber duda alguna, particularmente de los experimentos de Sir H. Davy, de que tal espiral no es necesaria, ya que una descarga recta transversal a una aguja la magnetizaba, aunque a muchas pulgadas de distancia. Tampoco admite el Señor Moll la magnetización de las agujas en el exterior de las espirales.

Algunos experimentos hechos por el Señor Pictet, el 7 de abril, en Florencia, confirmaron los resultados obtenidos por el Señor Ørsted.

El condensador galvano-magnético del Señor Poggendorf es simplemente una hélice colocada perpendicularmente, y teniendo los extremos del alambre unidos a una placa de zinc y a una placa de cobre, que se colocan en ácido diluido. Cuando se eleva una aguja no magnetizada sobre un pivote en esta hélice para que sea perpendicular a su eje, se dice pronto que se convierte en magnética cualquiera que pueda ser la naturaleza de la hélice, o sin importar cómo esté conectada con las placas, y al punto norte y sur. Debe observarse, que la aguja no es en este caso, como en todos los experimentos anteriores, paralela al eje de la hélice,

sino que es perpendicular. Es probable que se haga magnética por alguna acción indirecta del aparato.

Por último, un documento fue leído el 5 de julio a la *Royal Society* por Sir H. Davy sobre los fenómenos magnéticos producidos por la electricidad, y su relación con el calor ocasionado por el mismo agente; pero esto todavía no ha sido publicado, ni ningún resumen de ello dado al mundo, de modo que soy incapaz de indicar qué hechos puede contener.[14]

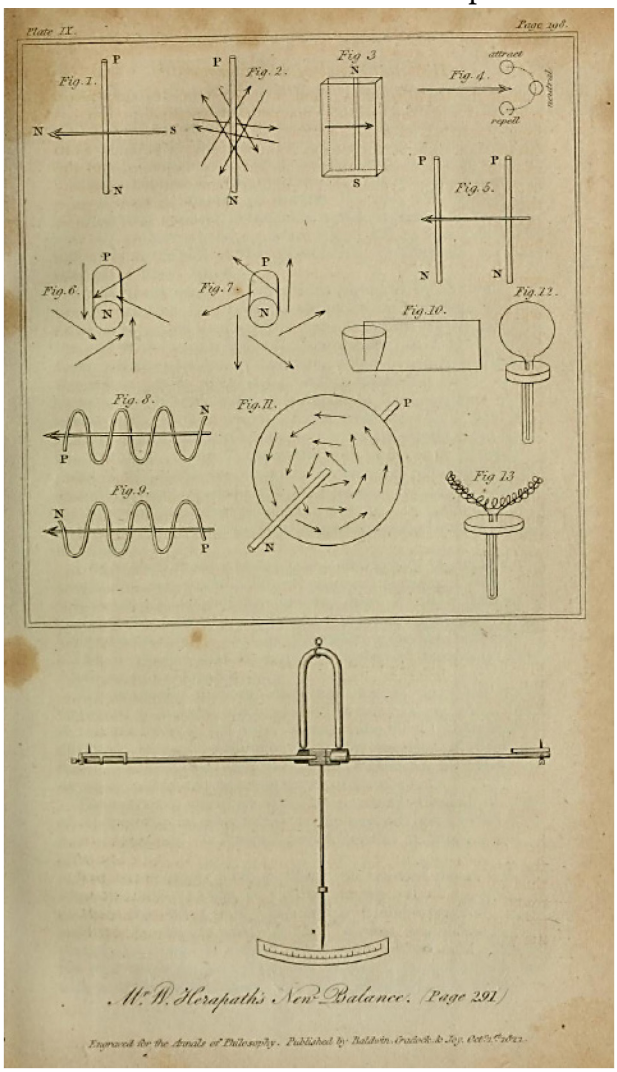
Tal es, señor, un resumen imperfecto de los experimentos realizados sobre este tema desde el descubrimiento de Ørsted, a los que he podido acceder. Con respecto a lo que se había hecho antes de ese tiempo, aunque muchos filósofos se habían ocupado sobre la relación de la electricidad con el magnetismo, y teorizaron sobre ella, sin embargo, muy poco más que una opinión se puede encontrar en sus escritos. No puedo, creo, hacer más que copiar la nota al principio del primer documento de Sir H. Davy, para mostrar lo poco que se había hecho en ese momento, y con esto terminaré este esbozo histórico de hechos; y tratar, en el resto de esta carta, de dar de alguna manera un relato familiar de las diferentes teorías del electromagnetismo que ahora existen.

"El Señor Ritter afirmó, que una aguja compuesta de plata y zinc se dispuso en el meridiano magnético, y fue ligeramente atraída y repelida por los polos de un imán, y que un alambre metálico, después de ser expuesto en el circuito voltaico, tomó una dirección NE y SE. Sus ideas son tan oscuras que a menudo es difícil de entenderlo; pero parece haber tenido una idea vaga de que las combinaciones eléctricas, cuando no exhiben su tensión eléctrica, estaban en un estado magnético, y que había una especie de meridiano electro-magnético dependiendo de la electricidad de la tierra. (*Annales de Chimie*, pág. 80). Desde que esta carta ha sido escrita, el Dr. Marcet ha sido tan bueno que me envió de Génova algunas páginas de Aldini sobre el Galvanismo, y del Manual de Galvanismo de Izarn, publicado en París hace más de 16 años. Se cita en estas páginas al Señor Mojou, senador de Génova, que ha hecho magnética a una aguja de acero colocándola en un circuito voltaico durante un largo período de tiempo. Esto, sin embargo, parece haber sido dependiente simplemente de su lugar en el meridiano magnético, o de una curvatura accidental de la misma; pero el Señor Romagnesia, de Trento, se dice que descubrió que la pila de Volta causó una declinación de la aguja: no se dan los detalles; pero si

[14] Nota del traductor: Si se supone que el calor es una sustancia, no se puede imaginar que sea expulsado del platino; porque se puede generar una cantidad ilimitada del mismo platino, es decir, siempre que la electricidad es excitada, o siempre que se renueve. O si se supone que es idéntico a, o un elemento de, electricidad, debe tener alguna relación con su cantidad, y se puede esperar que sea el mismo en cada parte del alambre, o más grande en aquellas partes cercanas a la batería.

> El magnetismo producido por la electricidad, aunque con los mismos conductores aumenta con el calor, como mencioné en mi último trabajo; sin embargo, con diferentes conductores, creo que sigue una ley muy diferente. Por lo tanto, cuando una cadena está hecha de diferentes alambres conductores, y se colocan en el mismo circuito, todos exhiben iguales poderes magnéticos, y toman cantidades iguales de limaduras de hierro. De modo que el magnetismo aparece directamente a la cantidad de electricidad que transmiten. Y cuando en una batería voltaica altamente poderosa, alambres de los mismos diámetros y longitudes, pero de los cuales la mejor conducción es incapaz de descargar por completo la batería, se hacen, por separado y sucesivamente, para formar el circuito, toman diferentes cantidades de hierro limaduras, en alguna proporción directa a sus poderes de conducción. (Davy, 1822, p. 9-10).

la afirmación general es correcta, el autor no habría podido observar el mismo hecho que el Señor Ørsted, sino simplemente suponía, que la aguja tenía sus polos magnéticos alterados después de haber sido colocada en el circuito voltaico como parte de la combinación eléctrica."



Conclusiones

El camino recorrido a partir del experimento de Ørsted, da la posibilidad de observar que la electricidad y el magnetismo tenían connotaciones diferentes pero el desarrollo de las distintas experiencias conduce al cuestionamiento sobre la interconvertibilidad. Es así como se van disponiendo concepciones sobre electro-magnetismo (se tienen fuerzas magnéticas transversales cuando circula corriente eléctrica por un alambre y corriente eléctrica cuando hay circuitos magnéticos alrededor de un conductor; magnetismo es una forma de electricidad presente en los cuerpos, se da por corrientes que describen círculos alrededor del eje simétrico del cuerpo), para finalmente constituir un escenario donde se habla de electromagnetismo (electricidad y magnetismo son fenómenos que se pueden manifestar a la par, sin reducir el uno al otro).

De otro lado, el panorama que muestra Faraday permite contemplar las maneras de explicar los fenómenos electromagnéticos, que en principio estaban sometidas a una fuerte influencia de la herencia newtoniana, no obstante, en este nuevo escenario se comienzan a repensar la acción, el espacio, la masa. Frente a la acción, que en el marco newtoniano era directa e instantánea, ahora exhibe un carácter transversal y no instantáneo observado en el experimento de Ørsted. Paralelamente, con la formulación del conflicto eléctrico, se empieza a pensar que la fuente de la acción no se limita únicamente a los cuerpos sino que podría ser consecuencia de variaciones del estado del espacio vecino. De esta manera, el espacio cobra un papel fundamental en la interacción en tanto en este se tiene la extensión de unas influencias surgidas de masas que ya no son inertes y discretas, sino activas y parte del medio, son regiones del espacio con propiedades (térmicas, eléctricas, mecánicas, etc) diferentes pero que en definitiva dependen de él.

De este razonamiento se tienen dos consecuencias fundamentales: por un lado, la materia se despoja de su inercia y no se puede reducir su exploración sólo a su masa, en este sentido, toda la materialidad expuesta en Newton se ve abocada a una potencialidad cuya base es la fuerza. De otro lado, se empieza a estructurar una concepción donde el espacio adquiere un carácter continuo y es sede e indicador de cambios y procesos, siendo esta la base de la idea de campo que posteriormente sería refinada con el trabajo de James Clerk Maxwell.

Referencias

Ampere, A. (1820). Mémoire Présenté à l' Académie royale des Sciences, le 2 octobre 1820, où se trouve compris le résume de ce qui avait élé lu à la méme Académie les 18 et 25 septembre 1820, sur les effects des courans électriques. En: R. Tricker. *Early Electrodynamics the first law of circulation* (pp. 140-154).Birmingham: Pegamon Press,

Assis, A. y Chaib, J. (2015). *Ampere´s Electrodynamics.* Montreal: Apeiron.

Caluzi, J. y De Souza, M. (2009). Sobre as experiências relativas à imantaçao do ferro e do aço pela açao da corrente voltaica: uma traduçao comentada do artigo escrito por François Arago. *Revista Brasileira de Ensino de Física, 31* (1), p. 1-12.

Davy, H. (1821). On the magnetic phaenomena produced by electricity. *Annals of Philosophy, 2* (2), p. 81-89.

Davy, H. (1822). On the magnetic phaenomena produced by electricity. *Annals of Philosophy, 3* (1), p. 1-10.

Faraday, M. (1821). Historical Sketch of Electro-magnetism. *Annals of Philosophy, 2* (3), p. 195-199.

Faraday, M. (1821). Historical Sketch of Electromagnetism. *Annals of Philosophy, 2* (4), p. 274-290.

Fresnel, A. (1820). Note sur des Essais ayant pour but de décomposer l'eau avec un aimant. *Annales de chimie et physique,* (15), p. 219- 222.

Moll, G. (1821). Account of the Electro-Magnetic apparatus of Lieut-Col Offerhaus. *The Edinburgh Philosophical Journal, 5*, p. 352-355.

Rees, A. (1820). *Cyclopaedia; Universal Dictionary of Arts, Sciences, and Literature.* London: Longman, Hurst, Rees, Orme and Brown.